

病害虫の総合的管理技術

—化学農薬だけに依存しない病害虫防除—



1. 病害虫の総合的管理技術 (IPM) とは

(1) 農業と化学農薬

農業の生産性向上に寄与した技術の一つに化学農薬があります。現代の農業では、病害虫などによる農作物の収量や品質の低下を防ぐため、いろいろな化学農薬が使用されています。日本で年間どのくらいの化学農薬が使われているかを出荷量から推定してみると、製剤量で約30万トン（またはkL）、出荷金額で約3,600億円（平成14年度）となります。このように化学農薬が広く使用されているのは、化学農薬が高い効果を有するとともに、他の方法と比較して省力的に処理できるからです。

とくに我が国は湿潤な気象条件にあり、病気や害虫の発生が多く、品質の良い農作物を安定的に消費者へ届けるには病害虫対策が是非とも必要です。平成34年に日本植物防疫協会の主導で実施された、「農薬を使用しないで栽培した場合の病害虫などによる被害調査試験」の結果をみますと、化学農薬を使用しない場合、水稲では収量で20～50%の低下、リンゴの試験では無農薬区において100%ないしそれに近い収量・出荷減、キャベツでも25～75%の減収率が記録されています。

しかし、その一方で、化学農薬が農耕地を中心とする生態系や土壌・水・空気を含む環境に影響を及ぼすことが懸念されています。確かに、毒性につい

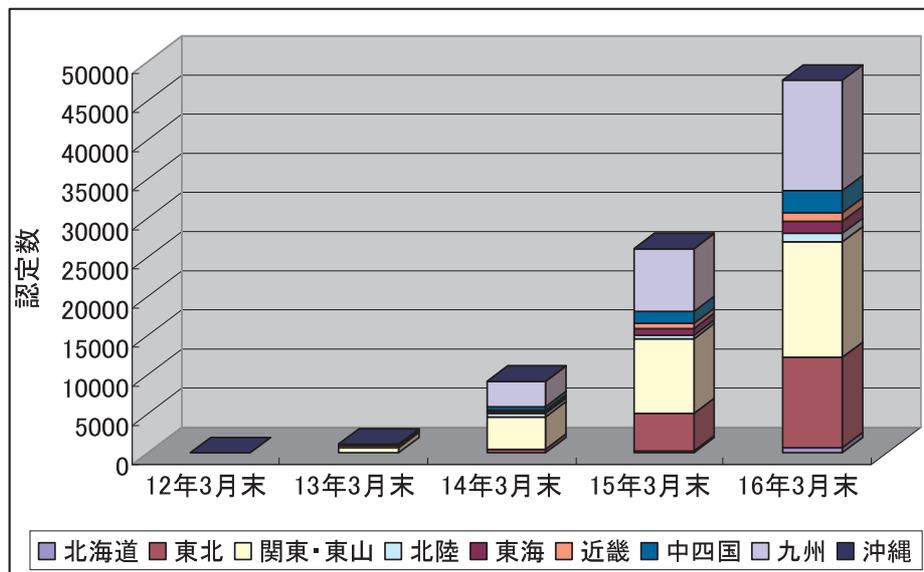
での知見が乏しくそれをチェックするシステムがまだ機能していなかった1950年代に開発された化学農薬、例えばパラチオン（殺虫剤）のように毒性の高いもの、残留性が高く土壌の汚染につながったDDTやBHC（殺虫剤）、魚毒性の高いPCP（除草剤）などは、環境に対する影響が指摘されました。これらの化学農薬は、使用の規制や禁止措置がすでに講じられています。現在では、「農薬取締法」において化学農薬の登録制度が整備され、登録の際には、安全性や毒性に関する試験が必要です。さらに環境への影響、残留性についてもしっかりデータを取り、問題のないものだけを登録しています。また、残留基準は人間への影響がないことを主眼として定められています。したがって、適正な使い方を行えば、今日の化学農薬は人間や動物、環境に対して安全です。ただし、将来にわたって持続的な農業生産を継続していくためには、さらになお、環境への影響を極力抑え、生産性と品質を維持できるような農業技術を求めていく必要があります。こうした考え方は我が国に限らず広く国際的な潮流でもあります（コラム①参照）。また、化学農薬を続けて使用すると、薬剤に対する耐性を示す病原菌や害虫、雑草が出現することがあります。より持続的な農業生産をめざすためには、化学農薬に過度に依存した防除体系は、これを改めていく必要があります。

コラム①

環境保全に対する海外の動向と我が国の施策

環境に対する関心は、レイチェル・カーソンによる「沈黙の春」の発刊（1962年）などを一つのきっかけとして、世界中で高まってきました。1992年にブラジルのリオデジャネイロで180ヶ国の参加により開催された「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」では、持続可能な開発に向け、「環境と開発に関するリオ宣言」が出されるとともに、その行動計画である「アジェンダ21」、また、「気候変動枠組み条約」、「生物多様性保全条約」および「森林原則声明」が採択されました。これを契機にして、環境への配慮に関する取り組みは、世界の国々やあらゆる産業部門に対して求められるようになりました。農業生産においても、集約的な農業が生産過剰と環境汚染をもたらしたことから、欧州（EU）では、環境に配慮した農業を営む農家への支援策や、施肥による硝酸塩汚染を防ぐための規制などを導入しています。また、アメリカでは、環境改善奨励計画（EQIP）により土壌、水など自然資源および野生生物の保全活動を行う作物や家畜の生産者への支援が行われています。

我が国の農業施策においても、環境の保全に向けた取り組みが重視されるようになりました。平成4年から、環境負荷の軽減に配慮した「環境保全型農業」が推進されるようになりました。平成11年には、いわゆる環境三法、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（持続農業法）」、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」及び「肥料取締法の一部を改正する法律」が制定され、その方向がより具体的に示されるようになりました。特に「持続農業法」では、堆肥等の活用による土づくりと化学肥料・化学農薬の低減に一体的に取り組む計画を立て、都道府県知事の認定を受けた農業者（愛称:エコファーマー）に対し、金融・税制などの特例措置を適用することでその促進を図っています。



エコファーマー認定数の推移（農林水産省生産局環境保全型農業対策室取りまとめ）

(2) IPMとは

以上のような背景から、生産性の維持を図りつつ環境にも配慮した病虫害防除法として、「総合的管理技術」が注目されるようになってきました。これは、通常IPM（Integrated Pest Managementの略）と呼ばれ、従来の化学農薬に依存した方法による病虫害の撲滅ではなく、化学農薬以外の防除方法、例えば、輪作体系や抵抗性品種、熱による消毒や機械などを用いた物理的な防除、天敵やフェロモンの利用なども組み合わせる総合技術です（図1）。こうすることで、化学農薬をできるだけ用いずに、農作物の被害が経済的に許容できる水準以下になるよう病虫害の密度を低く保ちます（以下この技術をIPMと略記）。

実例として、露地栽培ナスで大きな被害をもたらすミナミキイロアザミウマという害虫について紹介します。ミナミキイロアザミウマはナス、トマトな

どの果菜類の害虫で、露地ナスでは十数回の化学農薬（マラチオン乳剤など）による防除を必要とします。この問題を克服する技術として、近年の研究により、ミナミキイロアザミウマの天敵であるヒメハナカメムシと、ヒメハナカメムシへの影響がなくミナミキイロアザミウマの成長を抑制する昆虫成長制御剤（プロフェジン水和剤など）を組み合わせ、大幅に化学農薬の使用を低減できる技術が開発されました。従来の化学農薬散布ではミナミキイロアザミウマだけでなく、その天敵のヒメハナカメムシも撲滅してしまうため、薬剤を散布したあと時間がたつと再びミナミキイロアザミウマが繁殖してしまいました。しかし、天敵を活かす防除手段をとると、天敵が栽培期間を通じて畑に存在できるようになり、慣行の半数以下の化学農薬散布回数で、ミナミキイロアザミウマの生息数を被害が起こらないレベルに

低く保つことが可能となりました。この方法では収量がやや減じるものの品質の良い収穫物が得られ、農家収益も高くなる結果となっています。

このように、IPMでは、複数の手段を相互に上手

に組み合わせることにより、病虫害の密度を制御し、環境への影響を極力少なくしながら、生産性の維持を図ります。

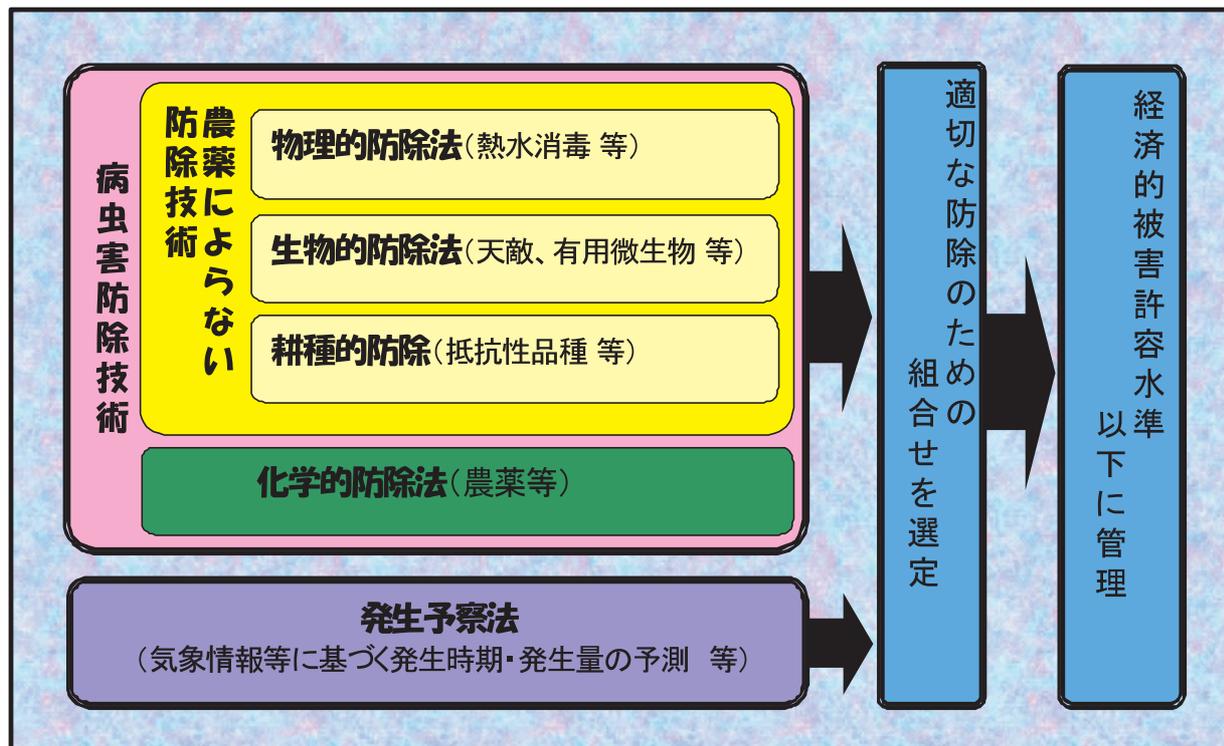


図1 病虫害の総合的管理技術 (IPM) の概念図

(3) IPMの意義と問題点

IPMは安全性に問題がなく生産性も安定しており、環境問題に配慮した減農薬栽培技術として、化学農薬や化学肥料を原則用いない有機農業に比べてより広範な農家で実施することが可能です。このため、IPMは「エコファーマー (コラム①参照)」などの認証をめざす農家の取り組みを容易にし、その拡大をすすめる上でも有効です。今日、環境の保全や食品の安全性に対する消費者や生産者の関心が高まっています。生産性の確保と環境に対する悪影響の回避の両立を図るIPMの取り組みについて、消費者と生産者、そして社会の理解を広く求めていくことは重要です。IPMの啓蒙を通じ、国民の国内農産物への信頼を高め、海外からの輸入品との差別化による国内農産物の需要拡大に貢献することが期待されます。

しかし、こうしたIPMの技術にもいくつかの問題点があります。例えば、天敵や微生物などの生物を

活用する防除法の効果は、化学農薬に比較すると不安定な面があります。一つの技術で防除できる害虫や病気の種類は化学農薬に比較して少なく、複数の技術を上手く組み合わせなければ、作物に害を及ぼす病虫害の発生を低く保つことはできません。また、天敵を利用できる害虫や、化学農薬以外の手法で防除できる病害の種類もまだ限られており、より広範な害虫や病原菌を対象とした、新たな防除技術の開発がなお必要です。このため、病原菌や害虫の遺伝的、生化学的特性についての高度な基盤的研究をすすめるとともに、生産現場で技術の効果と環境への影響を評価する研究を含めた広範な研究分野を組み立てていく必要があります。以下の各章ではこれまで開発されてきた、あるいは現在研究がすすめられている新たな技術や、それをを用いた事例、今後の取り組むべき課題について紹介いたします。

2. IPMのための個別技術

(参考ホームページ <http://narc.naro.affrc.go.jp/kenkyukan/kankyo.htm>)

IPMにはさまざまな個別技術があります。ここで

は各技術で用いる手段の特徴によって、物理的防除法、生物的防除法、化学的防除法、耕種的防除法などに分類します(表1)。以下に、それぞれの防除法についてその概要と代表的な例を示します。

表1 IPMの個別技術の例

		長所	短所
物理的防除	熱利用(太陽熱土壌消毒、熱水土壌消毒)	臭化メチルの代替法として土壌病原菌に高い防除効果を示す。	処理後土壌の微生物相が単純化し、外部から病原菌が再侵入した場合は増殖しやすい。
	ネット利用	確実に害虫の侵入を防止できる。	ハウス等施設に限られ、換気に悪影響。
生物的防除	天敵昆虫(バンカー法)	適切に管理できれば省力的に害虫を防除できる。	対象となる害虫の種類が限られる。
	フェロモン剤(交信かく乱)	導入しやすく省力的に処理できる。	対象となる害虫の種類が限られる。
化学的防除	選択性農薬(天敵に影響しない農薬)	天敵を維持できる。	利用できる農薬数が少ない。
	局所的利用法(土壌くん蒸剤の植穴処理)	くん蒸剤の使用量を大幅に節減できる。	パスツリア菌の灌注処理等他の技術と組み合わせる必要がある。
耕種的防除	栽培方法	ロックウール栽培	連作が可能。
	栽培作物	抵抗性品種/台木	病原菌が侵入した場合に急速に被害が拡大する場合がある。
	作型	対抗植物	安価で導入しやすく効果も高い。
			抵抗性品種の市場での評価が低い場合がある。継続して栽培すると抵抗性品種や台木を犯す病原菌や害虫が発生する場合がある。
			効果が植物の種類やセンチュウの種類などによって異なる。収穫の対象とならない。

(1) 物理的防除法

■ 物理的防除法の概要

この防除法は熱、光、風力などの物理的な力を利用して病害虫を防除する方法です。熱水や太陽熱などを利用して土壌病原菌を死滅させる熱利用法、水滴を含んだ強い風を茶樹に吹き付け害虫を吹き飛ばし、回収袋に捕獲・圧死させる送風式害虫捕集法(図2)、細かいネットなどにより害虫の施設への侵入を防ぐ方法などがあります。熱利用については最近マイクロ波を用いた消毒法の研究もすすめられています。また、ある種の光に対する病原菌の増殖速度の違いや害虫の行動反応を利用する方法もあります。例えば、特定の波長域の光を遮断することによって灰色かび病などの病原菌の孢子形成が阻害されることを利用した近紫外線除去フィルム、コナジラミ類が黄色の物に対して誘引されることを利用した黄色粘着テープや、ハスモンヨトウ、アワノメイガ、オオタバコガなどのヤガ類が、黄色光を忌避することを利用した黄色蛍光灯の利用などがあります。ここでは熱水による土壌消毒法について紹介します。



図2 送風式害虫捕集機

(独) 農業・生物系特定産業技術研究機構 野菜茶業研究所提供

■ 熱水土壌消毒法

(参考ホームページ <http://vegetea.naro.affrc.go.jp/kasai/kasaibyogai/Hot%20Water%20Treatment.htm>)

土壌病原菌の防除にはこれまで臭化メチル剤やクロルピクリン剤などの土壌くん蒸剤が多用されてきました。しかし、作業や環境への影響が懸念されており、特に臭化メチルは、オゾン層を破壊するとして2005年以降には例外を除いて製造、使用が禁止されることとなっています。このため、新たな効果の高い土壌消毒技術の開発が不可欠となっています。熱水土壌消毒法は、その代替技術の一つとして開発されたもので、防除が難しかった土壌病原菌に対して効果が高い方法です。

熱水土壌消毒法の原理は、土壌に熱水を染み込ませて土壌温度を上げることにより、土壌病原菌、センチュウ、雑草種子などを死滅させるところにあります。具体的には、消毒対象の畑やハウスの横に稼動可能なボイラーを設置し、ボイラーからの熱水(約95℃)を50cm程の間隔に並べた散水ホースを通じ、1㎡あたり150-200L程度散布します。散水後は1-2日間被覆したままにしておき殺菌効果を高めます(図3)。

本法は土壌に熱水を浸透させて消毒する、という方法をとっているため、透水性などの土壌の性質によって効果の大きさと持続性が変わってきます。したがって、作物、土壌など現場の状況を十分に踏まえて行うことが必要です。また、土壌中に生息する病原菌だけではなく、それ以外の生物も死滅しますので、土壌生物相が単調になる傾向にあり、もし病原菌が残っていたり、外部から侵入すると再び増殖しやすい状況になります。このため、微生物(パストリア菌、菌根菌)処理との併用など、その対策を考える必要があります。



図3 熱水土壌消毒法に用いるボイラー

<http://vegetea.naro.affrc.go.jp/kasai/kasaibyogai/Hot%20Water%20Treatment.htm>

(2) 生物的防除法

■ 生物的防除法の概要

この防除法は、生物が本来持っている寄生性、捕食性、誘引性などの性質を防除に活用する方法です。この中には、天敵による害虫の捕食・寄生を利用して害虫の密度を低減させる方法、性フェロモンを用いて害虫の雌雄間の情報伝達をかく乱して交尾を妨げる方法、弱毒ウイルスや非病原菌の接種により病原ウイルスや病原菌の感染を防ぐ方法などがあり、製剤化されたものは「生物農薬」といいます。

フェロモンについては、さまざまな害虫におけるフェロモンの単離・同定がなされ、実用化・製品化がすすめられています。これまでは主として、オスを誘引する役割を果たしている性フェロモンを利用

してきました。その後、雌雄の関係がない集合フェロモンを用い、害虫を誘引して捕獲する方法も開発されました。最近、ハスモンヨトウ、ハマキ類の蛾だけでなくカメムシ類の集合フェロモンの利用技術や、フェロモン以外の新たな情報化学物質（コラム②参照）の利用も研究されています。フェロモンの利用場面についても、露地野菜、果樹園だけでなく、芝、育樹、貯蔵食料品などへと広がっています。

天敵などの生物農薬については、施設野菜の場合に約16%、露地野菜では約5%の農家で、また、フェロモン剤については、施設野菜が約5%、露地野菜では3.5%の農家においてそれぞれ用いられています。

生物的防除法は、生物の特性をたくみに使い、生物によって生物を守る方法ですので、化学農薬の削減法として優れています。しかし、生物的防除法の問題点は、ひとつの防除法が対象とする病虫害の種類が限られ、多種類の技術を組み合わせる必要がある点です。また、天敵の利用については、天敵を放飼するタイミングの判断が難しいことや、定期的な天敵放飼作業が煩雑であることのために、時には天

敵が定着しなかったり、害虫の増加を抑えられなかったりする場合があることです。

■ バンカー法 —天敵利用法の応用技術—

(参考ホームページ <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/kinki/ki03002.html>)

天敵利用における上記の問題点を解決するため、天敵として有効な昆虫の生長、繁殖に必要な植物（バンカー植物という）を栽培作物の近くに育てて、天敵を増殖・維持させる技術が開発されました（コラム③参照）。こうすることにより、いざ害虫が侵入してきた時には天敵が迅速に攻撃活動を開始することができます（図4）。うまく管理を行うと、3~4ヶ月は効果を持続させることが可能です。ただし、この方法で防ぐことができる害虫にも限りがあります。一方、天敵に寄生する二次寄生蜂の出現、天敵が寄生することができない害虫の増殖、といった短所も見受けられ、注意が必要です。

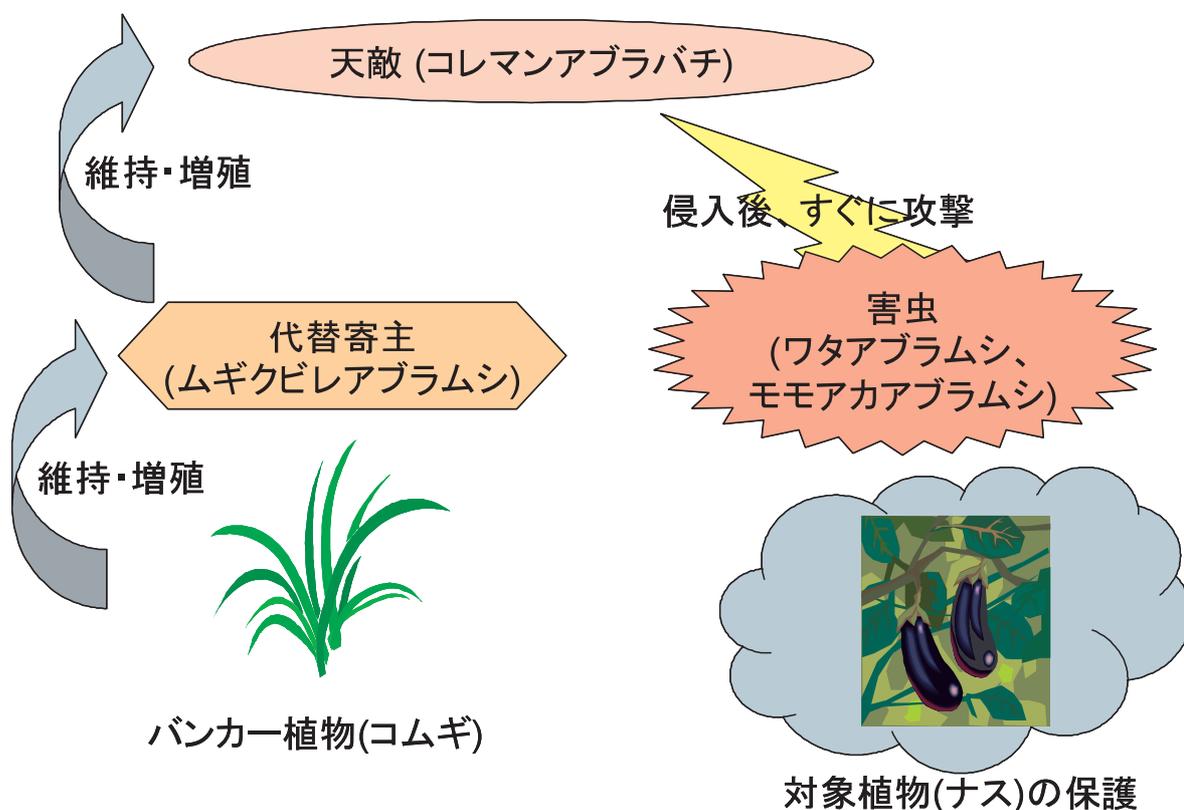


図4 バンカー法の原理

新たな情報化学物質の利用

これまで、天敵については海外から導入された昆虫を利用する方法が多かったのですが、最近はその地域に根付いている天敵（土着天敵）をより有効に用いる手法が検討されてきています。土着天敵の場合、その地域の生態系への影響が少なく、しかも安定した効果が期待できるからです。このため、土着天敵を作物あるいはその周辺に安定して引き留めておき、害虫が来たときにすぐに捕食してくれるような技術の開発も進んでいます。コラム③の「バンカー法」がその一つですが、天敵を呼び寄せる新たな情報化学物質を利用する技術も近年注目されています。例えば、害虫に加害されている豆類が、天敵昆虫を誘引・定着させる「天敵呼び寄せ物質」を放出していることが最近わかってきました。また、植物に対して引き金となる化学物質を吹き付けておくことにより、植物が天敵呼び寄せ物質と似た成分を放出する事例が明らかにされています。これらの仕組みを利用すると、天敵をあらかじめ作物に居着かせることができ、効率的な防除につながります。こうした新しい特性をもつ情報化学物質を用いた方法は、ユニークな防除技術として期待されています。



害虫に食害された作物から発する揮発物質による天敵の誘引（模式図）

バンカー法の実践事例：施設栽培ナスにおける利用

ナスはキュウリ・トマトとともに全国で栽培されている代表的な施設野菜です。促成栽培体系においては年間約10ヶ月間栽培され、9ヶ月にわたって収穫ができます。病害虫の発生は、この長期にわたる栽培と施設内の高温多湿環境によって助長されます。従って、薬剤の使用回数も多く、薬剤抵抗性害虫や薬剤耐性病原菌が出現しやすいなど、防除上の大きな問題となっています。

高知県安芸市では、県農業技術センターと安芸農業改良普及センターの指導により、平成13年12月から76ヶ所、平成14年11月から約150ヶ所の促成栽培施設(ナス、ピーマン、シシトウなど)に、春期のアブラムシ対策としてバンカー法を導入しました。これは、アザミウマ類に対する天敵昆虫のタイリクヒメハナカメムシや受粉を媒介する昆虫を利用している10a規模の施設において、こうした昆虫に影響を及ぼす化学農薬の使用を削減するために行われたものです。バンカー法の導入の結果、半数以上の施設でアブラムシ防除が農薬の部分散布で可能となりました。また、全体の平均でも、2～6月のアブラムシ防除薬剤の全面散布回数は、コレマンアブラバチの通常の接種的放飼や天敵を利用しない場合よりも1回削減することができました。



写真1
天敵コレマンアブラバチ
体長1.7～2.2mm



写真2
天敵の寄生を受けた
ムギクビレアブラムシのマミー



写真3
ハウス内に導入した天敵とバンカープラント(1)



天敵無放飼区の水タアブラムシ



天敵単独放飼区



天敵・バンカー(写真3)区

写真4 天敵・バンカー法による水タアブラムシの防除効果

http://ss.cgk.affrc.go.jp/sinsei13/seika13_18.html

バンカー法による水タアブラムシの防除の実例

(3) 化学的防除法

■ 化学的防除法の概要

化学農薬の利用を含むこの防除法は、IPMにおいても主要な技術の一つとなっています。化学農薬には特定の病害虫のみに効果のある選択性の強いものから広範囲に効果を示すもの、自然界に長く留まる残留性の高いものと易分解性のもの、直接病害虫に作用するものと作物の抵抗性を高めることで防除効果を示すもの（誘導抵抗性:コラム④参照）などさまざまな種類があります。より環境への影響が少なく、目的とする病害虫の防除を効率的に行える化学農薬を使用することは重要です。一般的には、毒性が低く、耐性病原菌や害虫の発生が少なく適切な残効性がある一方、収穫物への残留性の低い薬剤が好ま

しい選択です。特に、天敵も同時に活用する場合は、天敵に対して害のない選択性のある化学農薬を使用する必要があります。

化学農薬の使用量を少なくした防除法としては、例えば、土壌くん蒸剤の植穴処理法があります。これは、土壌くん蒸剤を全面に処理するのではなく、苗を定植する植穴にのみ処理することにより、使用量を低減化させる技術です（図5）。この方法に併せてパストリア菌を植穴に灌注処理し、菌根菌を定着させたトマト苗を定植すると、パストリア菌の密度が速やかに高まりセンチュウ害が抑制されます（参考ホームページ <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/kanto/kan03004.html>）。



微生物・植穴くん蒸処理
（根こぶ被害はほとんどない）



無処理
（根こぶ被害大）

図5 微生物と植穴くん蒸処理による、施設栽培トマトのネコブセンチュウに対する防除効果

<http://www.naro.affrc.go.jp/theme/target2003/seika/3/3.html>

コラム④

誘導抵抗性の利用

近年、誘導抵抗性の利用が注目されています。これは、一度病原菌の感染を受けると、植物体の中で病原菌に対する防御機構が働き、次に侵入してくる病原菌の侵入を阻止しやすくなる現象を意味しています。現象が似ていることから、動物の免疫現象に例えられています。抵抗性を誘導するのは病原菌だけではなく、昆虫による食害、傷などの物理的な刺激、そして化学物質による人為的な刺激などによっても引き起こされます。非病原性フザリウムや、弱毒ウイルス、ケイ酸資材あるいはキチン質資材の利用による病害防除法も、この誘導抵抗性が関与しています。また、誘導抵抗性による効果は、病原菌の感染抑制以外に、昆虫の摂食阻害もあります。

イネのいもち病防除に慣行的に使用されているプロベナゾール剤は、誘導抵抗性を利用する薬剤として知られています。この薬剤をイネに施用すると植物体が抗菌性物質の生成など防御反応を引き起こし、いもち病菌の侵入・感染を阻止して予防的な防除効果を示します。また、薬剤耐性菌が出現していないこともよく

知られており、作物の誘導抵抗性を利用した病害防除法が、耐性菌出現の危険性の非常に低い有効な手段であることを示しています。誘導抵抗性機構は複雑で、関連遺伝子群の発現機構、細胞内での情報伝達の機構、病原菌の侵入・感染阻止の機構など、未だ完全には解明されていないのが実情です。今後は、その解明のための研究をすすめ、対象作物・病害の拡大、予防効果の長期化など利用技術の発展につなげることが期待されます。



無処理



低分子量キチン処理

低分子量キチン処理の効果

<http://www.naro.afrc.go.jp/theme/target2003/seika/3/3.html>

キチンは糸状菌の細胞壁や甲殻類に含まれる多糖類の一種で、それを分子量3,000~50,000 に加工した低分子量キチンは、キャベツの萎黄病抵抗性を誘導（(独)農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター）。

(4) 耕種的防除法

■ 耕種的防除法の概要

耕種的防除法は、作物生産における増収や安定化のための栽培技術の一環として使われてきたものです。例えば病害虫に対して抵抗性の品種や台木の使用、土壌中のセンチュウの増殖をおさえる効果のある対抗植物の利用、あるいは雨よけ栽培、ロックウール栽培などの栽培方法による土壌病害防除などが挙げられます。また、有機物の施用や、輪作、間作、混作など、作付け体系の工夫による土壌病害の回避もこの中に含まれます。抵抗性の台木の利用は広く普及しており、トマトで約41%、ナスで約57%の農家で利用されています。一方、対抗植物の普及についてはまだ限られており、施設野菜で1.6%の農家、露地野菜でも1.2%の農家でしか利用されていません。耕種的防除法の長所は安価で導入がしやすい点です。防除効果については、抵抗性品種など高い効果を示

す技術もありますが、他の技術は病害虫の種類や環境条件により左右されます。

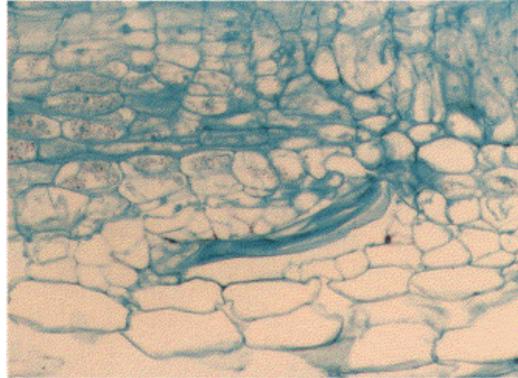
■ センチュウに対する対抗植物の利用

センチュウに対して効果を示すマリーゴールド、ハイオーツなどを対抗植物として利用する方法があります。これは、対抗植物の栽培により、センチュウの増殖がおさえられ、センチュウ密度が低減する現象を利用しています。そのメカニズムとして、根から分泌される物質が殺センチュウ作用をもつ場合、根に侵入したセンチュウの発育を阻害する場合があります。対抗植物としてはこれ以外に、マメ科のサイラトロ、クロタラリア、エビスグサ、イネ科のギニアグラス、ソルゴーなどが利用されています（図6）。ハイオーツ（エンバクの野生種）については、ダイコン、ニンジン、ゴボウなどの根菜に被害を及ぼすキタネグサレセンチュウやキタネコブセンチュウ

ウに対して効果を示し、2回の作付け期間を通して効果が持続します。

対抗植物の効果は、種、品種、系統の違い、あるいはセンチウの種類によって大きく変わることも

知られています。したがって、センチウの種類を把握した上で効果の確認された対抗植物を使用する必要があります。



a) 対抗植物・サイラトロクの根内で死亡した
サツマイモネコブセンチュウ



b-1) ギニアグラス-キュウリ区



b-2) キュウリ連作区

図6 対抗植物によるセンチウ防除効果

<http://konarc.naro.affrc.go.jp/seikadb/01/1-04.html>

(5) 発生予察法

■ 発生予察法の必要性

IPMで重要かつ必要な技術として、害虫や病原菌の密度を計測・予測する技術が挙げられます。適切な防除を行うには、病害虫が、「いつ」「どこで」「どれくらい」発生するかを予測する必要があります。例えば、害虫に対して予防効果のある技術を使用する場合、害虫の大発生後に処理しても効果は低くなります。また、殺菌剤についても、病原菌の発生時期、病原菌の種類・量に対応して散布しないと、無駄な散布を行ってしまうなどの弊害が出てきます。従って、IPMを確実に実施するには、害虫や病原菌

の発生を予測し、適切な時期に必要な最小限の防除のみを行うことが肝要です。こうした予測に用いる手法を「発生予察法」と呼びます。

■ 発生予察法の概要

発生予察の方法として代表的なものに、トラップ調査があります。これは性フェロモンなどの誘引源を用いて対象とする害虫を捕獲し、その数を計測する調査方法です。経時的に害虫数を調査することにより、対象とする害虫の発生消長を把握することができます。トラップの種類には、フェロモンを誘引源として対象の害虫を誘引・捕獲するもの、害虫が

特定の色に対して集まってくる性質を利用して黄色、青色、白色などの粘着板に誘引・捕獲する方法があります。施設栽培では天敵の放飼時期の把握に粘着版を用いた発生予察が利用されます。

これらの技術はいずれも捕獲した害虫を目視によって計測する技術ですが、最近、捕獲した害虫の頭数を自動的に計数する技術が開発されてきました。これの一例として、電撃型自動計測フェロモントラ

ップがあります（図7 参考ホームページ <http://vegetea.naro.affrc.go.jp/print/proceedings/1/1-11.pdf>）。これは、性フェロモン剤で誘引した上で害虫を電撃殺虫すると同時に計数し、発生消長を自動的に調査する手法です。

また、コンピューターを用いて気象データなどから病害虫の発生予察を行う方法も重要です。例としては、リアルタイムウンカ飛来予測システムがあり

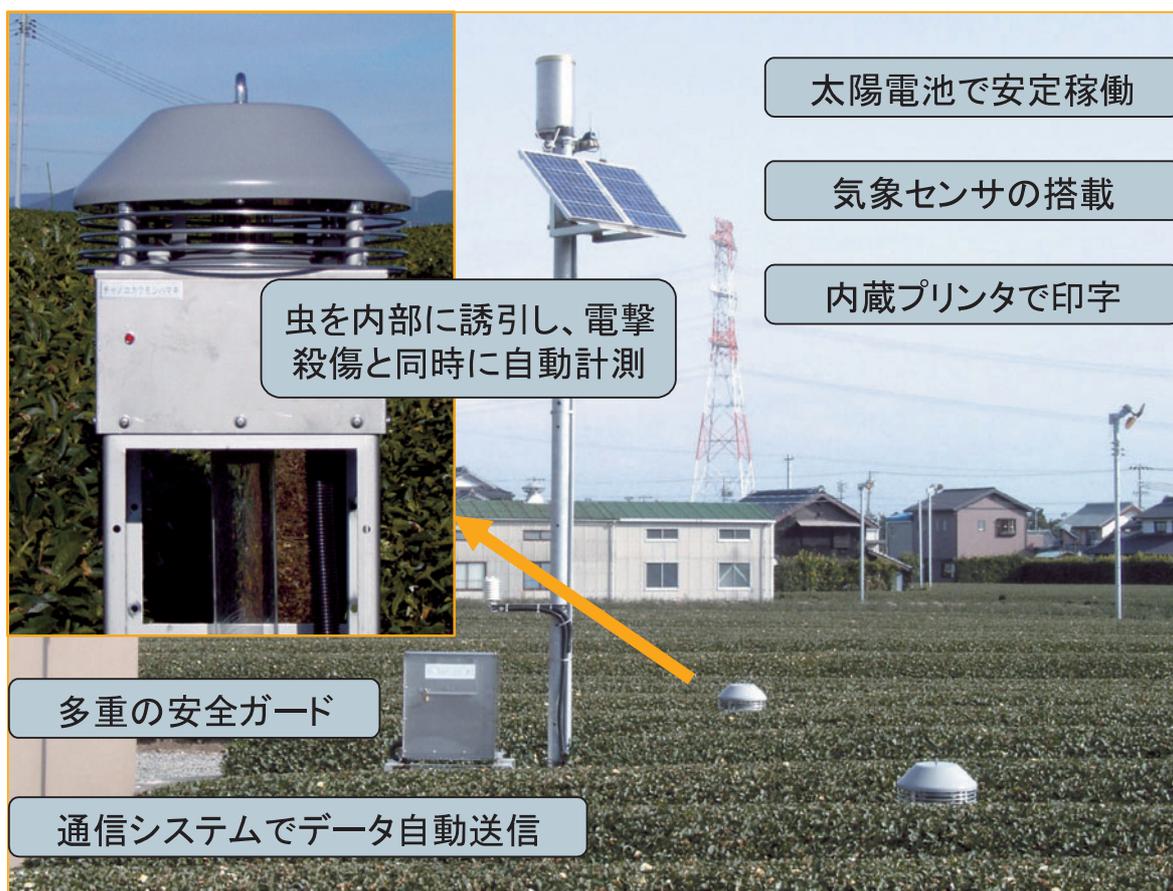
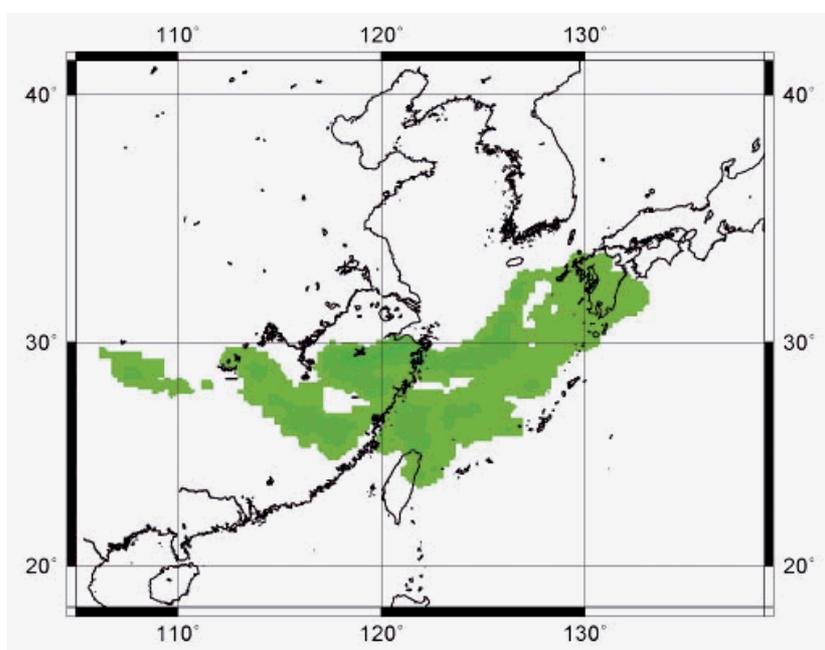


図7 電撃型自動計測フェロモントラップ

((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構 野菜茶業研究所 佐藤安志氏提供)

ます（図8 参考ホームページ <http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/press/unka/unka.htm>）。これは、高精度な気象シミュレーションを用いて、イネの重要害虫であるウンカの海外から日本への飛来をリアルタイムに予測するシステムです。このシステムを用いると、1日後または2日後に日本のどの地域にウンカが飛来するかを予測できます。飛来源も特

定できますので、ウンカの飛来の状況が詳しく分かるようになり、防除対策に生かすことができます。



ウンカ飛来予測の一例

2003年6月11日06時に中国を飛び立ったウンカの、13日00時における分布予測

図8 ウンカ飛来予測システムの予測例

<http://narc.naro.afrc.go.jp/chousei/shiryou/press/unka/unka.htm>

3. IPMの実例

以上のような個別技術が開発されてきていますが、これらを総合したIPMの実例について、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構でとりまとめられたIPMマニュアルから2例を取り上げて紹介します。

(1) キャベツにおけるIPMの体系

長野県における夏秋どり露地キャベツ栽培のIPMの実例を表2に示しました。栽培の中心は、4月下旬以降に定植期を迎える作型で、9月下旬までが収穫の最盛期となる夏秋どりキャベツです。主に発生する害虫はコナガ、モンシロチョウ、タマナギンウワバ、ヨトウガ、オオタバコガ、ダイコンアブラムシ、モモアカアブラムシ、ナモグリバエなどで、病害では根こぶ病、黒腐病、パーティシリウム萎凋病、軟腐病などがあります。現状では、あらかじめ防除予定を決めて、それに従って行うスケジュール的防除が主体となっており、病害虫あわせて全防除回数は21

回となっています。IPMの体系ではフェロモン剤や微生物農薬であるBT剤を用いることなどによりアセフェート水和剤などの化学農薬を使用せずに防除回数を10回程度に削減できます。

(2) 施設栽培トマトにおけるIPMの体系

トマトの施設栽培においてもナスと同じように、長期の栽培期間、施設内の高温多湿環境、病虫害の種類の高さなどの理由から、化学農薬による予防・駆除が必須で、多い場合は20回もの処理が行われます。このような背景に基づき、物理的防除や生物的防除技術が導入されつつあります。施設栽培は閉鎖環境となるため、その効果も露地栽培より大きいと考えられます。南関東でよく見られるトマトの半促成栽培へのIPM導入例を表3に示しました。この体系では、農薬散布回数を慣行の20回から8回に削減することが可能となります。ただし、外張り、内張りの資材の利用などにより、防除コストが慣行法の2倍以上かかることが課題として残されています。

表2 キャベツにおけるIPMの事例（長野県・露地栽培・夏秋どり）

作業・生育状況	対象病害虫	IPM体系防除(薬剤防除回数)	慣行防除(薬剤防除回数)
育苗期	コナガ アブラムシ類 べと病	ハウス開口部ネット被覆 エマメクチン安息香酸塩乳剤 (1) オキサジキシル・TPN水和剤 (1)	テフルベンズロン乳剤 (1) DDVP乳剤 (1) オキサジキシル・TPN水和剤 (1)
定植前	コナガ 根こぶ病	ダイアモルア剤またはアルミゲルア・ ダイアモルア剤処理 葉ダイコン作付け, すき込み, 石灰	フルスルファミド粉剤 (1)
定植期	コナガ, モンシ 口チョウ, アブ ラムシ類	ベンフラカルブマイクロカプセル セルトレイ灌注処理 (1)	
生育期	コナガ, モンシ 口チョウ, アブ ラムシ類 べと病 軟腐病, 黒腐病	BT剤 (アセタミプリド水溶剤10,000倍) オキサジキシル・TPN水和剤 (1) 塩基性硫酸銅水和剤	アセフェート水和剤 (1) DDVP乳剤 (1) BT剤 エマメクチン安息香酸塩乳剤 (1) フルフェノクスロン乳剤 (1) アセタミプリド水溶剤 (1) オキサジキシル・TPN水和剤 (1) 塩基性硫酸銅水和剤
結球始期	コナガ, モンシ 口チョウ, アブ ラムシ類 軟腐病, 黒腐病 菌核病	BT剤 (アセタミプリド水溶剤10,000倍) オキシリニック酸水和剤 (1) 塩基性硫酸銅水和剤 イプロジオン水和剤 (1)	アセフェート水和剤 (1) エマメクチン安息香酸塩 (1) クロルフェナピルフロアブル (1) イミダクロプリドフロアブル (1) オキシリニック酸水和剤 (1) 塩基性硫酸銅水和剤 イプロジオン水和剤 (1)
結球期	コナガ, モンシ 口チョウ, アブ ラムシ類 軟腐病, 黒腐病, 株腐病, 菌核病	スピノサド顆粒水和剤 (1) (アセタミプリド水溶剤10,000倍) オキシリニック酸水和剤 (1) バリダマイシン液剤 (1) イプロジオン水和剤 (1)	DDVP乳剤 (1) BT剤 フェンバレレート・マラソン水和剤 (1) オキシリニック酸水和剤 (1) バリダマイシン液剤 (1) イプロジオン水和剤 (1)
薬剤防除合計回数		10	21
防除資材費合計		42,800円	54,800円

有機農産物で使用が認められている薬剤については、防除回数から除外した。アセタミプリド水溶剤10000倍については、アブラムシ類が発生したときのみ散布する。防除資材費は育苗圃10㎡、本圃10aを想定。ネットは5年間で減価償却して計上。

●●●：化学農薬 ●●●：生物農薬（微生物） ●●●：フェロモン剤

表3 施設栽培トマトにおけるIPM体系

時期	作業・生育状況	対象病害虫	IPM体系防除 (薬剤防除回数)	慣行防除 (薬剤防除回数)
7月下旬	本圃準備	灰色かび病、菌核病、葉かび病	流滴、近紫外線除去の外張り資材 吸放湿性内張り資材	ビニール、PO (外張り) ビニール(内張り)
		土壌病害、線虫	土壌還元消毒*	クロルピクリン・D-D剤(1)
8月中旬	前作定植	—	—	
9月		—	—	
10月	苗準備	葉かび病 土壌病害(萎凋病)	抵抗品種 抵抗性台木に接ぎ木	感受性品種
10月 ~12月	育苗期	葉かび病	抵抗性品種	TPN(1)
		疫病	キャプタン(1)	キャプタン(1)
		ハモグリバエ類	エマメクチン安息香酸塩乳剤	エマメクチン安息香酸塩乳剤
		アブラムシ類	トルフェンピラド(1)	トルフェンピラド(1)
11月	前作収穫終了 本圃準備	サツマイモネコブ センチュウ	トリクロロニトロメタン40% 1,3-ジクロロプロペン52%の植穴少量処理(1) バスツーリア・ペネトランス水和剤(植穴)	ホスチアゼート粒剤(1)
12月	トマト定植	コナジラミ類	アセタミプリド粒剤(1)	アセタミプリド粒剤(1)
1月				
2月下旬	収穫開始	灰色かび病	温湿度管理	ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤(1)
3月		灰色かび病 葉かび病	温湿度管理 ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤(1)	フルジオキシニル(1) ポリオキシシン(1)
		オンシツコナジラ	オンシツツヤコバチ	ピメトロジン水和剤(1)
4月		マメハモグリバエ	イサエヒメコバチ・ハモグリコマコバチ	フルフェノクスロン乳剤(1)
		アブラムシ類	ピメトロジン水和剤(1)	
		灰色かび病 葉かび病	温湿度管理	ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤(2) トリフルミゾール(1) メパニピルム(1)
5月		ハスモンヨトウ オオタバコガ	BT剤	フルフェノクスロン乳剤(1)
		灰色かび病 葉かび病	温湿度管理	トリフルミゾール(2)
6月中旬	収穫終了	トマトサビダニ	キノキサリン水和剤(1)	キノキサリン水和剤(1)
防除資材費合計(労賃含まず)			232千円	108千円
薬剤防除合計使用回数			8	20

*1回のみ。2回目以降は植穴燻蒸処理

ハウス規模は、間口8m×3連棟×奥行き42m。軒高(肩まで)2.3m、棟高(峰の最高所まで)3.9m、勾配4寸(横に1m行って0.4m下がる)

●●●：化学農薬 ●●●：生物農薬(微生物) ●●●：生物農薬(天敵昆虫)

4. IPM研究の課題

(1) 環境に及ぼす影響の評価

以上に述べてきたように、IPMについては様々な技術が開発され、生産現場への導入が図られてきました。今後も化学農薬を代替し、病害虫による被害を軽減するための技術開発が期待できます。しかしながら、IPMが農業生態系を含む地域の環境に対してどのような影響を及ぼすかについては、研究があまりすすんでいません。現状では化学農薬の使用回数という点でのみ環境への負荷低減を評価するにとどまっています。

今後は、IPMの体系における土壌微生物や昆虫の種類、発生量の変動を解析していく必要があります。持続的な生産を可能とする環境の条件、例えば病原微生物の急速な繁殖を抑えられる土壌の微生物相、あるいは、害虫の侵入による急激な被害の発生を抑制する天敵昆虫の分布などを解明し、どうすればこれらを保全できるか考えていくことが重要です。と

くに、土壌病害の防除については、土壌中の多種多様な微生物群の消長に不明な点があり、その効果の持続性に問題が出てきています。そのため、土壌中の微生物の種類、割合といった微生物相を正確に把握する必要があります。最近、土壌中に存在する生物由来のDNA（環境DNA、Environmental DNA、eDNAと呼ばれています。コラム⑤参照）を抽出して、遺伝子レベルで微生物相を解析する方法が考え出されています。今後はこのような基礎的技術の開発を含めて、土壌微生物相の解析が重要です。

また、IPMにおいては、化学農薬の代替技術として天敵、拮抗微生物、対抗植物などが用いられますが、こうした代替技術が農地の周辺に生息する生物やその生態系に対して影響を及ぼす可能性についても注意が必要です。例えば天敵として外来の昆虫を用いる場合、その天敵昆虫がどのような虫に寄生し、どのような虫を捕食するのか、越冬性や周辺の類縁昆虫との交雑の可能性、ミツバチなどの有用生物や土着天敵への影響などの評価は、必要な情報です。

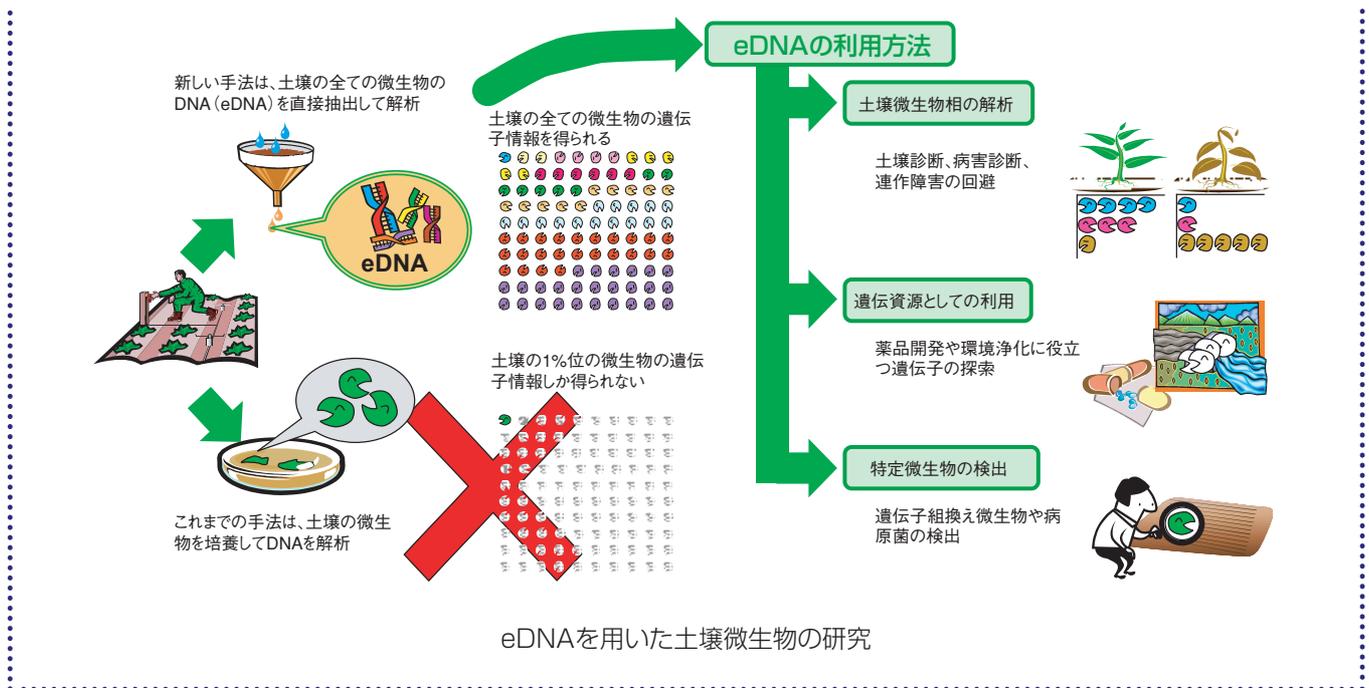
コラム⑤

eDNAについて

これまでの土壌微生物の研究は、まず試料を寒天培地などで培養し、増殖が可能で単離できる微生物のみを対象に行われてきました。DNAの解析やさまざまな調査についても、培養を経て増殖した微生物が用いられてきました。しかし、土壌微生物の99%以上は培養することができないため、こうした手法で得られる情報は、ごく一部の微生物に限られることになります。土壌中にどんな微生物がどれくらいいるのか、といった基本的なことも把握できません。

ところが、1980年代の後半に、培養を経ないで土壌中の微生物を直接溶菌・抽出してDNAを回収する技術が登場しました。この方法により土壌から直接得られたDNAがeDNA (environmental DNA、metagenome、環境DNA、土壌DNAとも呼ばれます)です。

この方法によると、これまで未知の世界とされていた、培養条件では繁殖しない大多数の土壌の微生物についても情報を得ることができます。このため、土壌微生物全体の様相を明らかにすることが可能となります。例えば、微生物の間にはDNAの塩基配列などに細かな違いがあるため、ある土壌のeDNAが得られると、これを解析することにより、どのような微生物がどれくらいの割合で存在するのかがわかります。その結果、土壌に生息する微生物の多様性の程度、また、それが土壌殺菌などによってどのくらい影響を受けるのかなどが明かとなり、土壌診断技術、連作障害・土壌病害回避技術の開発に生かすことができます。またeDNAからは、従来の培養できた微生物の少なくとも100倍の遺伝情報が手に入ります。これらの遺伝子の中には、新規の抗生物質、酵素などの産業利用が見込まれるものや、有害物質の分解酵素のように環境浄化に役立つものなどが含まれており、有用な微生物の遺伝子を探索することが可能です。しかし、解析に用いる試料の採取方法などにまだ課題が残されており、今後の研究の進展が期待されています。



(2) 総合的な実証研究の実施

IPMについて、その普及を妨げている原因のひとつに、効果の不安定性が挙げられます。天敵を用いて害虫防除を行った場合、これまで密度的に問題にならなかった害虫（二次害虫）が発生する場合があります。新たに天敵を用意しなくてはならないことがあります。熱水消毒など物理的な防除方法についても、その後の微生物相が単調化するため、条件によっては、特定の病原性微生物の急激な増殖を招きます。IPMの場合、生産現場で適用して初めて問題点が明らかになることが少なくありません。今後のIPM技術の開発については、こうした点を踏まえ、生産現場における十分な実証研究を積み上げる必要があります。安定的な効果発現のための条件、生産物の収穫量と品質の変動などを科学的に示していくことが重要です。とくに、品質については、成分や日持ち性も含め十分な検証が求められます。また、個別に開発された技術が相互にどのような影響を及ぼすかを総合的に生産現場で確認することも必要です。

IPMの問題点としては、このような効果の不安定性とともに、コストの問題も指摘されています。とくに物理的防除法に使用する機械や資材、化学農薬の代替となる生物農薬のコストが高く、普及の妨げとなっています。実用的な技術として導入を図るには、経済性についての評価を明確に示すことと、さらなる技術の低コスト化に向けた研究の実施が重要な課題です。一方、IPMによる生産物が、適正な認証制

度を通じ、減農薬栽培農産物として価格面で差別化され、生産者の努力に相応する収益につながることを望まれます。

(3) IPMに関する情報の提供

IPMはさまざまな手法を利用するため、化学農薬に依存した防除法に比べて複雑です。また、生物的防除法や耕種の防除法のように地域の条件や気象条件などの影響を受けやすく、それらに応じて臨機応変に細かく方法を変えなければならないという特性があります。したがって、農家の方々がIPM技術を実施するには、技術に対する十分な知識と理解が必要です。その助けとなる総合的なマニュアルの作成やインターネットなどによる情報の提供が、個々の作目や対象とする病害虫ごとに求められています。このような要請に応えて、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構の中央農業総合研究センターは、代表的な作物についてのIPMマニュアルを作成しています。

一方、消費者やマーケットともコミュニケーションを図り、IPMの意義を十分に啓蒙していくことも重要です。先進的な農家はIPMなどの技術を駆使し、化学農薬の使用量の低減に努めています。こうした努力を消費者に伝え、我が国の農業に対する信頼の向上に結び付けていく必要があります。

（執筆担当：研究開発企画官 寺島 一男）
研究調査官 堀尾 剛

『農林水産研究開発レポート』既刊リスト

- No.1 (2001.10) 麦の高品質化を目指して
- No.2 (2002. 1) イネゲノム情報を読む
- No.3 (2002. 5) 循環する資源としての家畜排せつ物
- No.4 (2002. 9) 機能性食品の開発
- No.5 (2002.12) バイオマスエネルギー利用技術の開発
- No.6 (2003. 3) 新たな用途をめざした稲の研究開発
- No.7 (2003. 5) 昆虫テクノロジー研究
- No.8 (2003. 9) 地球温暖化の防止に関わる森林の機能
- No.9 (2004. 2) 海洋生態系と水産資源－持続的水産資源管理の高度化を目指して－
- No.10 (2004.11) 食品の品質保証のための研究開発
- No.11 (2004.12) 食料・環境問題の解決を目指した国際農林水産業研究

本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とさせていただくため、皆様からのご意見・ご感想をE-mail、FAX、郵便などによりうけたまわっておりますので、下記宛までお寄せ下さい。

宛先：〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1
農林水産省 農林水産技術会議事務局 技術政策課 技術情報室調査班
(担当) 川口、岩崎

TEL 03-3501-9886
FAX 03-3501-8794
E-Mail: www@s.affrc.go.jp

本レポートは、下記からもご覧いただけます。

<URL> <http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report.htm>

農林水産研究開発レポート No. 12

「病害虫の総合的管理技術 -化学農薬だけに依存しない病害虫防除-」

2005年3月11日 初版発行

2005年5月30日 改訂版発行

監 修 農林水産省 農林水産技術会議

編集・発行 農林水産省 農林水産技術会議事務局

〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1

TEL 03-3502-8111 (代表)

FAX 03-3507-8794

<http://www.s.affrc.go.jp>

